

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

**Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.**

**Defects in the images may include (but are not limited to):**

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-246828

(43)Date of publication of application : 14.09.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/13

(21)Application number : 09-050071

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 05.03.1997

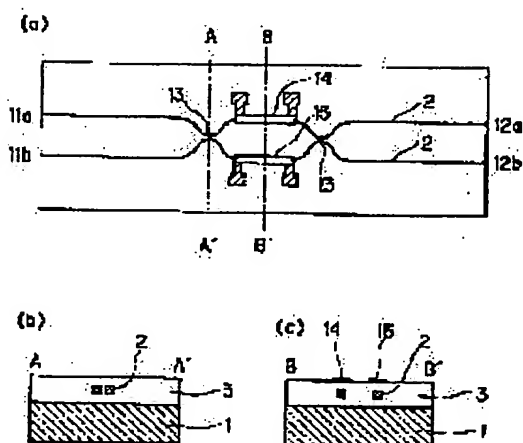
(72)Inventor : GO TAKASHI  
MORIWAKI KAZUYUKI  
ABE ATSUSHI  
INOUE YASUYUKI

## (54) METHOD FOR TRIMMING OPTICAL PATH LENGTH IN WAVEGUIDE TYPE OPTICAL CIRCUIT AND DEVICE THEREFOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To exactly match the optical path length of a waveguide to a desired value by measuring the trimming quantity actually shifted every time each trimming treatment ends and progressing the trimming little by little while taking the error of the trimming quantity known by this measurement into consideration.

SOLUTION: This device has a silicon substrate 1, a core part 2 consisting of quartz glass embedded into a clad layer 3, the clad layer 3 consisting of the quartz glass and thin-film heaters 14, 15 formed on the surface of the clad layer 3 in the upper part of the core part 2. The trimming is executed by impressing electric power on the thin-film heater (transfer shifter for trimming) 15. In such a case, the trimming quantity actually shifted is measured every time trimming treatment ends by taking the error of trimming quantity into consideration and the trimming is progressed little by little while taking the error of the trimming quantity known by this measurement into consideration. Then, the optical path length of the waveguide may be exactly matched with the desired value without overtrimming.





(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-246828

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月14日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/13

G 0 2 B 6/12

M

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-50071  
(22) 出願日 平成9年(1997) 3月5日

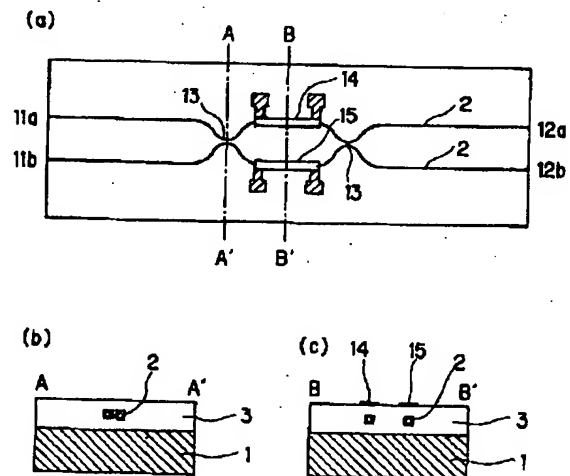
(71) 出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号  
(72) 発明者 郷 隆司  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内  
(72) 発明者 森脇 和幸  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内  
(72) 発明者 阿部 淳  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内  
(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)  
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 導波型光回路における光路長トリミング方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 正確に所望の光路長を得るために、高精度でありながら、且つ実用的な時間内に光路長トリミングを行うことを目的とするものである

【解決手段】 基板1上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理によりトリミングする方法、つまり恒久的に位相シフトさせる方法に於いて、トリミング処理を数回に分け、且つそれぞれのトリミング処理が終わる毎もしくは必要に応じて実際にシフトしたトリミング量 $Ps_1$ ,  $Ps_2$ , ...を測定し、その測定により判るトリミング量の誤差を勘案しながら、少しずつトリミング処理を進めていくことを特徴とする。



- 1 シリコン基板
- 2 導波路コア
- 3 クラッド
- 11a, 11b 入力導波路端
- 12a, 12b 出力導波路端
- 13 方向性結合器
- 14 薄膜ヒータ(スイッチング用位相シフター)
- 15 薄膜ヒータ(トリミング用位相シフター)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理により恒久的に調整する方法に於いて、トリミング処理を数回に分け、且つそれぞれのトリミング処理が終わる毎もしくは必要に応じて実際にシフトしたトリミング量を測定し、その測定により判るトリミング量の誤差を勘案しながら、少しずつトリミング処理を進めていくことを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項2】 請求項1記載の光路長トリミング方法は、トリミング前の光路長差を測定し、必要なトリミング量を決定する工程と、トリミング時間とトリミング量の関係式を用いて、トリミングの誤差量も考慮しながら、トリミング時間を算出する工程と、算出したトリミング時間でトリミング電力を印加する工程と、光路長差を測定し、実際のトリミング量を測定する工程と、所望の光路長差に対する最終到達誤差幅以内に到達していればトリミングを終了する工程と、所望の光路長差に対する最終到達誤差幅以内に到達していなければ、実際のトリミング量を基に、トリミング時間とトリミング量の関係式を修正し、引き続き、トリミング時間とトリミング量の関係式を用いて、トリミング量の誤差も考慮しながら、トリミング時間を算出する工程とを含むことを特徴とする請求項1記載の導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項3】 基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理により恒久的に調整する方法に於いて、トリミング電力が、トリミング電力とトリミング量の関係式を用いて、必要なトリミング量に応じて決定されることを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の光路長トリミング方法が、局所加熱によって導波路の実効屈折率が恒久的に変化する現象を利用していることを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項5】 請求項4記載の局所加熱は、光導波路上に形成された薄膜ヒータを用いることを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項6】 請求項1、2、3、4又は5記載の前記光導波路が、 $\text{SiO}_2$ を主成分とする石英系ガラスから成る干渉計型光回路に適用されることを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング方法。

【請求項7】 基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理によりトリミングする装置に於いて、光路長測定手段、トリミング電力供給手段、トリミング電力・トリミング時間を算出する手段及び請求項1、2又は3記載のトリミング方法を実施する手段を具備することを特徴とする導波型光回路における光路長トリミング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、導波型光回路における光路長トリミング方法及びその装置に関する。例えば、光通信分野等で用いる単一モード光導波路を用いた干渉計型光回路の作製方法及びその作製装置に関するものであり、更に詳細には、作製誤差による光路長誤差を後処理によって恒久的に補正するトリミング方法及びその装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、動画像等の高ビットレート通信を含むマルチメディア通信の普及の高まりに伴い、通信網の大容量化と同時に高度化・高機能化が強く求められている。この実現に光通信技術が重要な役割を果たす事は疑いのない状況になってきており、既に中継通信網においては大半の通信回線が光ファイバー通信に置き換わっている。現在敷設されている光通信網は、個別にノード間を結ぶポイント・ポイントの光通信であるが、今後は更に、アクセス網を加えた複数のノード間を電気信号に変換することなく光信号のままで結ぶ網構造の光通信網に発展させる事が望まれてきている。

【0003】この光通信システムに必要なキー部品としては、光増幅器・光分岐結合器・光合分波器・光スイッチ等がある。中でも、光スイッチや光合分波器は光クロスコネクタ装置に代表される光回線切換装置などに使われる重要な部品の一つである。様々な形態の光部品の中で、導波路型光部品は、量産性・小型化等の面で優れた光部品として期待されている。中でも、シリコン基板上に作製される石英系光導波路は、低損失であり安定性及び光ファイバーとの整合性に優れているといった特徴を有し、実用的な光回路を構成する光導波路の最有力実現手段として注目されている。

【0004】光スイッチや光合分波器は様々な構成法があるが、石英系導波路を用いた光スイッチや光合分波器では、主に干渉原理に基づく構成が用いられている。簡単に説明すると、入力された光は所望の光路長差を持った導波路群に分岐され、それぞれの導波路で遅延を受けた後、合波され干渉し合う。この干渉の波長依存性を利用したものが光合分波器であり、遅延量を変化させて光路を切り替えるものが光スイッチである。したがって、その遅延量の精度すなわち光路長の精度は、動作特性に大きく影響する。

【0005】しかしながら、実際に作製されるこれら光回路では、作製誤差により導波路の光路長差は所望の値にならず、いくらかずれを伴う、つまり、光路長誤差があるのが普通である。これを補償する簡便な方法として、それぞれの導波路に装荷された薄膜ヒータに電力（バイアス電力）を加え局所的に温度を変えて、光路長を調整する方法がこれまで用いられてきた。これは、熱光学効果により導波路の実効屈折率が変化する現象を利用している。

【0006】しかし、このようなバイアス電力印加は、定常的に電力消費を必要とするといった問題や、バイアス電力を光路長誤差に合わせて設定するための駆動回路が必要となり、複雑になるといった問題があった。このバイアス電力は通常僅かではあるが、マトリクススイッチのようにバイアス電力を加える回路素子の個数が多い場合、総消費電力は、全消費電力の中で無視できないくらい大きくなっていた。

【0007】最近、このような定常的電力印加に頼らずに製作時の光路長誤差を後処理により恒久的に補正（トリミング）する手段として、薄膜ヒータに比較的大きな電力（薄膜ヒータのサイズが $4\text{mm} \times 40\mu\text{m}$ の場合5W程度）を印加し、導波路を局所的に高温加熱することにより、導波路の実効屈折率が恒久的に変化する現象を利用する方法が開発されている（特願平2-42538号、特願平4-192079号）。

【0008】この光路長トリミング法を用いることにより、上記の光路長誤差を恒久的に補正することが可能となり、無バイアス電力での動作が可能となる。図5に、薄膜ヒータに電力を印加したときの恒久的位相シフト量の電力印加時間の依存性を示す。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上述のような光路長トリミング法においては、図5に示すように、トリミング量（位相シフト量）は電力印加時間（トリミング時間）によって制御することができる。しかしながら、薄膜ヒータなどの不均一性によりこの位相シフト量は図5のエラーバー22に示すような誤差を持っており、正確な光路長の調整（トリミング）を行うという観点で致命的な問題があった。

【0010】また、トリミングは光路長を長くする方向にしか位相シフトをできないから、所望のトリミング量よりも大きくシフトし過ぎてしまった場合は、元に戻すことが出来ないという問題もあった。

【0011】更に、図5から判るように、所望のトリミング量が小さい場合、電力印加時間（トリミング時間）は極めて短時間となる。図5の横軸が対数スケールであることに注意すると、このようなトリミング時間が短時間の領域では、位相シフト量が大きいことが判る。つまり急激にトリミングが進むために、正確にトリミング量を制御することが難しい。逆に、所望のトリミング量が大きい場合、トリミング時間は非常に長時間となり、現実的な時間でトリミングを行うことは難しかった。

【0012】本発明は、上記従来技術に鑑みて成されたものであり、正確に所望の光路長を得るために、高精度でありながら、且つ実用的な時間内に光路長トリミングを行うことを目的とするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】斯かる目的を達成する本発明の導波型光回路における光路長トリミング方法は、

基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理により恒久的に調整する方法に於いて、トリミング処理を数回に分け、且つそれぞれのトリミング処理が終わる毎もしくは必要に応じて実際にシフトしたトリミング量を測定し、その測定により判るトリミング量の誤差を勘案しながら、少しずつトリミング処理を進めていくことを特徴とする。

【0014】上記トリミング方法は、トリミング前の光路長差を測定し、必要なトリミング量を決定する工程と、トリミング時間とトリミング量の関係式を用いて、トリミングの誤差量も考慮しながら、トリミング時間を算出する工程と、算出したトリミング時間でトリミング電力を印加する工程と、光路長差を測定し、実際のトリミング量を測定する工程と、所望の光路長差に対する最終到達誤差幅以内に到達していればトリミングを終了する工程と、所望の光路長差に対する最終到達誤差幅以内に到達していなければ、実際のトリミング量を基に、トリミング時間とトリミング量の関係式を修正し、引き続き、トリミング時間とトリミング量の関係式を用いて、トリミング量の誤差も考慮しながら、トリミング時間を算出する工程とを含むことを特徴とする。

【0015】また、上記目的を達成する本発明の導波型光回路における光路長トリミング方法は、基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理により恒久的に調整する方法に於いて、トリミング電力が、トリミング電力とトリミング量の関係式を用いて、必要なトリミング量に応じて決定されることを特徴とする。更に、上記光路長トリミング方法は局所加熱によって導波路の実効屈折率が恒久的に変化する現象を利用していること、上記局所加熱は光導波路上に形成された薄膜ヒータを用いていることを特徴とし、上記光導波路が $\text{SiO}_2$ を主成分とする石英系ガラスから成る干渉計型光回路に適用されることを特徴とする。

【0016】また、上記目的を達成する本発明の導波型光回路における光路長トリミング装置は、基板上に光導波路を用いて形成される干渉計型光回路の光路長を後処理によりトリミングする装置に於いて、光路長測定手段、トリミング電力供給手段、トリミング電力・トリミング時間を算出する手段及び請求項1、2又は3記載のトリミング方法を実施する手段を具備することを特徴とする。

【0017】〔作用〕本発明では、トリミング量の誤差を考慮してトリミング処理を数回に分け、それぞれのトリミング処理が終わる毎に実際にシフトしたトリミング量を測定し、その測定により判るトリミング量の誤差を勘案しながら、少しずつトリミングを進めているので、所望の光路長を大幅に通り越える、つまり、オーバートリミングすることなく、導波路の光路長を正確に所望の値に合わせ込むことが出来る。

【0018】ここで、トリミング時間とトリミング量の

関係式を用いて、トリミングの誤差量を見込んだ時間として、トリミング時間を算出することにより、トリミングの分割数が過剰に多くなることを防ぐことができ、分割によるオーバーヘッドを極力減らすことができる。

【0019】また、トリミング処理による恒久的位相シフト量（トリミング量）の規模は、図6（a）に示すように、トリミング電力の選択を変えることにより変化する。23, 24, 25はそれぞれトリミング電力=4W, 5W, 6Wにおけるトリミング時間依存性である。トリミング電力を大きくすると、短時間で大きく位相シフトが生じ、トリミング電力を小さくすると、ゆっくりと位相シフトする。

【0020】これを、一定時間内でのトリミング量としてまとめ直したグラフが図6（b）である。26, 27, 28はそれぞれトリミング時間Tが1秒、10秒、100秒の時のトリミング電力依存性である。従って、所望のトリミング量に応じて、最適なトリミング電力を選択することにより、トリミング精度を損なうことなく（トリミング時間が極端に短時間になることなく）、実用的な時間内にトリミングを行うことができる。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。以下の実施例では、本発明のトリミング法の適用対象として、光導波路としてシリコン基板上に形成した石英系単一モード光導波路によって実現されている光回路を選んだ。これはこの光導波路が低損失で安定であり、しかも石英系光ファイバーとの整合性に優れているためである。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。

【0022】〔実施例1〕本発明の一実施例を図1に示す。本実施例は、石英系導波路で構成された2×2光スイッチに適用したものである。図1（a）は上述の光回路の平面図、図1（b）は図1（a）のA-A'線に沿った断面図、図1（c）は図1（a）のB-B'線に沿った断面図である。図中、1はシリコン基板、2はクラッド層3に埋め込まれた石英系ガラスからなるコア部、3は石英系ガラスからなるクラッド層、14, 15はコア部2上部のクラッド層3の表面に形成された薄膜ヒータである。

【0023】この2×2光スイッチは、2個の3dB方向性結合器13と薄膜ヒータ14, 15で構成されたマッハツェンダー光干渉計回路になっている。2個の方向性結合器13を結んでいる2本の導波路の光路長差 $|\Delta L_{opt}|$ は、用途に応じ、ゼロ（ $|\Delta L_{opt}|=0$ ）もしくは信号光波長の2分の1（ $|\Delta L_{opt}|=\lambda/2$ ）などに設計されている。図1は $|\Delta L_{opt}|=0$ の時の構成を示している。

【0024】以下に、スイッチング動作を説明する。薄膜ヒータ14に無通電のときは（クロス状態、OFF時）、公知の干渉原理により、入力導波路端11bから

入った信号光は出力導波路端12aに伝搬し、入力導波路端11aから入った信号光は出力導波路端12bに伝搬する。一方の薄膜ヒータ14へ通電して（バー状態、ON時）、前記の光路長差を熱光学効果により信号光波長の2分の1相当分変化させると、入力導波路端11bから入った信号光は出力導波路端12bへ導かれ、入力導波路端11aから入った信号光は出力導波路端12aへ導かれ、スイッチング動作する。

【0025】この2×2光スイッチに用いられている石英系導波路は、 $\text{SiCl}_4$ や $\text{GeCl}_4$ などの原料ガスの加水分解反応を利用した石英系ガラス膜の堆積技術と反応性イオンエッチング技術の組み合わせにより厚さ1mm、直径4インチのシリコン基板上に作製し、薄膜ヒータ14, 15は真空蒸着法および化学エッチングにより作製した。

【0026】コアの断面寸法は6 $\mu\text{m}$ 角であり、コアとクラッド間の屈折率差は0.75%である。薄膜ヒータ14, 15のサイズは、厚さ0.1 $\mu\text{m}$ 、幅40 $\mu\text{m}$ 、長さ4mmである。マッハツェンダー干渉計回路を構成している2個の方向性結合器13を結んでいる2本の導波路の間隔は250 $\mu\text{m}$ にした。2本の導波路の光路長差は、光路長の作製誤差を見込んで、スイッチングヒータ14側を0.1 $\mu\text{m}$ 長くした。

【0027】この2×2光スイッチが作製されたチップをダイシングにより切り出し、チップのシリコン基板下部には放熱板を設けて、また、入出力導波路にはシングルモードファイバーを接続し、薄膜ヒータ14, 15には給電リードを接続し、2×2光スイッチモジュールとした。今回このスイッチモジュールを256個作製した。

【0028】作製した256個のスイッチモジュールの光路長差をそれぞれ求めたところ、スイッチングヒータ14側の導波路の方が0.2~0.02 $\mu\text{m}$ 程度長かった。今回、光路長差の測定には、薄膜ヒータ14, 15へのスイッチング電力を変化させたときの光出力の変化から求める方法を用いた。図1のようなマッハツェンダー干渉計回路の場合、スイッチング電力Pを変化させたとき、入力導波路端11aから出力導波路端12aへの光透過率Iは以下のように変化する。

$$I = \sin \{ (\alpha P + \delta \phi) / 2 \}$$

ここで、 $\alpha$ は熱光学効果に依る位相シフト係数であり、 $\delta \phi$ は光路長差 $\delta L$ による位相差である。従って、光透過率Iの電力Pに対する依存性から、導波路の位相差 $\delta \phi$ すなわち光路長差 $\delta L$ を求めることができる。

【0029】この方法以外にも、光路長差を求める方法には、例えば低コヒーレント光源を用いたマッハツェンダー干渉計とフーリエ分光法の組み合わせた測定法（特願平6-5989号、光回路評価方法）などがあるが、いずれの方法を用いても良い。

【0030】この光路長差を正確に所望の値（ここでは



光路長差=0)にするために、図2に示すフローチャートに従って、薄膜ヒータ(トリミング用位相シフター)15に電力を印加してトリミングを行った。ここでは、実際のトリミング例を交えながら、図2の手順を説明する。

【0031】まず、前述した位相測定法を用いてトリミング前の光路長差を測定し、総トリミング量 $P_s$ (=[所望の光路長差]-[トリミング前の光路長差])を決定した(ステップ $S_1$ )。

【0032】次に、トリミング電力 $P$ は、必要なトリミング量 $P_s$ に応じて、スイッチ毎に以下のように決定した。即ち、図6(b)に示すように、トリミング電力を増すと、一定時間におけるトリミング量は大きくなる。26, 27, 28はそれぞれトリミング時間 $T$ が1秒、10秒、100秒の時のトリミング特性曲線である。このトリミング電力に関する特性曲線 $g(P)$ の逆関数から、トリミング量 $P_s$ に応じたトリミング電力 $P$ を算出・決定した(ステップ $S_2$ )。但し、トリミング時間 $T$ は60秒とした。

【0033】トリミング時間 $T$ を全部使って上記のトリミング電力 $P$ を印加してしまうと、前述したようにトリミング量にはバラツキがあることから正確にトリミングをすることはできない。そこで、以下のようにトリミングを数回に分け、トリミングの進み具合を観察しながら、トリミング時間を調節することによって正確なトリミングを行った。

【0034】これまでの実験データから、トリミング電力 $P$ を印加したときのトリミングの進み具合(トリミング特性曲線)、即ち、トリミング時間とトリミング量との関係は、図3(a)のように予想される。31は平均の場合、31aは誤差範囲の最大の場合、31bは最小の場合のトリミング特性曲線である。このトリミング時間に関する誤差最大時の特性曲線31aである $f_{\max}(t)$ の逆関数から、誤差を見込んだ時間としての総トリミング時間 $\tau$ を算出した(ステップ $S_3$ )。

【0035】1回目のトリミング時間 $t_1$ としては、この総トリミング時間 $\tau$ を用い、この時間 $t_1$ でトリミング電力を印加した(ステップ $S_4$ )。1回目の電力印加終了後、光路長差を測定し1回目のトリミングによる実際のトリミング量 $P_{s1}$ を算出した(ステップ $S_5$ )。算出したトリミング量31cを図3に図示する。図3(a)を見て判るように、まだ所望のトリミング量 $P_s \pm \delta$ に到達していないので、2回目のトリミング実行を判断した(ステップ $S_6$ )。ここで、 $\delta$ は最終到達誤差幅であり、今回は $0.005 \mu\text{m}$ (300分の1波長に相当)とした。

【0036】図3(b)に示すように、1回目のトリミング結果31cを基にフィッティングを行い予想トリミング曲線を修正した(ステップ $S_7$ )。32は平均の場合、32aは誤差範囲の最大の場合、32bは最小の場合

の修正されたトリミング特性曲線である。1回目同様、誤差最大時の特性曲線32aである $f_{\max}(t)$ の逆関数から、誤差を見込んだ時間としての総トリミング時間 $\tau$ を算出した(ステップ $S_3$ )。

【0037】2回目は、この総トリミング時間 $\tau$ から既に印加した時間 $t_1$ を引いた時間 $t_2$ でトリミング電力を印加した(ステップ $S_4$ )。1回目と同様に、電力印加終了後、光路長差を測定し、2回目のトリミング終了時点での実際のトリミング量 $P_{s2}$ を算出した(ステップ $S_5$ )。図3(b)の32cに算出した合計のトリミング量を図示する。

【0038】図3(b)を見て判るように、これでもまだ所望のトリミング量 $P_s \pm \delta$ に到達していないので、3回目のトリミング実行を判断した(ステップ $S_6$ )。図4(a)に示すように、1回目・2回目のトリミング結果31c・32cを基にフィッティングを行い、予想トリミング曲線を修正した(ステップ $S_7$ )。2回目と同様にして、3回目、4回目のトリミングを行った。4回目のトリミングが終了したところで、図4(b)に示すように、トリミング量が所望のトリミング量 $P_s \pm \delta$ に到達したので、このスイッチのトリミングを終了した。

【0039】以上に示したようなトリミング処理を、作製した256個のスイッチモジュールに施した。確認のため光路長差を測定したところ、全てのスイッチモジュールに於いて、300分の1波長以下(バイアス電力で2mW以下)の高精度での光路長補正を行うことができた。今回のトリミング処理に於いて、スイッチ一つ当たりの積算トリミング時間( $=t_1+t_2+\dots$ )は平均で65秒程度であり、光路長測定などの時間を含めても平均120秒程度であり、十分実用的な時間で処理を行うことができた。

【0040】また、トリミング時間に関する誤差最大時の特性曲線 $f_{\max}(t)$ の逆関数から、誤差を見込んだ時間としての総トリミング時間 $\tau$ を算出することにより、トリミングの分割数が過剰に多くなることを防ぐことができ、分割によるオーバーヘッドを極力減らすことができた。今回、平均的な分割数は、結果的に4, 5回程度であった。

【0041】以上述べたような導波路作製及びトリミング処理により、無バイアス $2 \times 2$ 光スイッチモジュールを完成した。薄膜ヒータ(スイッチング用位相シフター)14に、350mW程度の適当な電力を印加する事により、スイッチはバー状態に切り替わり、スイッチング動作が確認された。このときのON/OFF消光比は25dB程度であった。

【0042】上記トリミングに於いて、トリミング特性曲線の癖・傾向は1回目のトリミング後のトリミング量測定によって、ある程度判る。また図3, 図4を見て判るように、トリミングの誤差量の幅はトリミングの回数が進むほど小さくなるので、トリミング誤差の考慮は初

回のみあるいは最初の数回のみでも構わない。すなわち、2回目以降は、総トリミング時間 $\tau$ を、トリミング時間に関する平均の特性曲線 $f(t)$ の逆関数から算出しても構わない。

【0043】また本実施例では、簡単な $2 \times 2$ 光スイッチでその効果を実証したが、マトリクススイッチ等の $2 \times 2$ 光スイッチを多数集積化した大規模スイッチにおいても、同様の結果が得られることは言うまでもない。さらに、本実施例では光スイッチへの適用についての説明をしたが、本発明は、マッハツェンダー干渉計波長分波器やアレイ導波路格子等の導波型干渉計光部品にも適用できることは自明である。

【0044】また、上記実施例ではシリコン基板上の石英系ガラスを基本とする光スイッチについて説明したが、他材料、他の作製法（拡散法、低温膜作製法）においても、光路長を高精度に且つ短時間にトリミングするための手段として本発明が本質的に優れていることは、以上の説明で明らかである。従って、例えば、プラスチック光導波路、高分子導波路やイオン拡散型導波路などにも、本発明を適用できることを、付記しておく。

#### 【0045】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、トリミング量の誤差を考慮してトリミング処理を数回に分け、それぞれのトリミング処理が終わる毎に実際にシフトしたトリミング量を測定し、その測定により判るトリミング量の誤差を勘案しながら、少しずつトリミングを進めることにより、所望の光路長を大幅に通り越える、つまり、オーバートリミングすることなく、導波路の光路長を正確に所望の値に合わせ込むことが可能となった。また、所望のトリミング量に応じて、最適なトリミング電力を選択することにより、トリミング精度を損なうことなく、実用的な時間内にトリミングを行うことができた。本発明は、無バイアス電力において高精度の光路長差を持つ導波型光回路を実用化の上できわめて効果的である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る $2 \times 2$ 光スイッチの基本構造図であり、同図（a）は平面図、同図（b）は同図（a）中のA-A'線断面図、同図（c）は同図（a）中のB-B'線断面図である。

【図2】本発明のトリミング処理方法の、基本的な手順（アルゴリズム）を示すフローチャートである。

【図3】本発明のトリミング処理方法の時間分割における各トリミング時間の決定方法及びトリミングの進む様子の一例に係り、同図（a）は1回目のトリミング処理、同図（b）は2回目のトリミング処理を示す。

【図4】本発明のトリミング処理方法の時間分割における各トリミング時間の決定方法及びトリミングの進む様子の一例に係り、同図（a）は3回目のトリミング処理、同図（b）は4回目のトリミング処理を示す。

【図5】トリミング量とトリミング時間との関係を示すグラフである。

【図6】本発明のトリミング処理方法のトリミング電力の決定方法及び選択するトリミング電力によって変化するトリミングの様子を示すグラフであり、同図（a）は各トリミング電力におけるトリミング量のトリミング時間依存性を示し、同図（b）は各トリミング時間でのトリミング量のトリミング電力依存性を示す。

#### 【符号の説明】

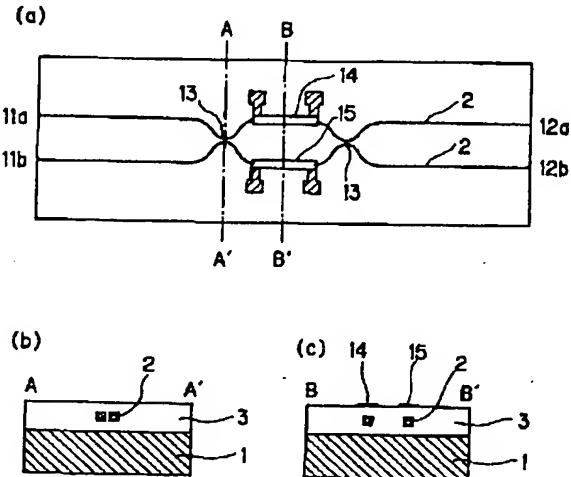
- 1 シリコン基板
- 2 導波路コア
- 3 クラッド
- 11a, 11b 入力導波路端
- 12a, 12b 出力導波路端
- 13 方向性結合器
- 14 薄膜ヒータ（スイッチング用位相シフター）
- 15 薄膜ヒータ（トリミング用位相シフター）
- 21 トリミング量の時間依存性（平均特性）
- 22 トリミング量の誤差範囲
- 23 トリミング電力 $P = 4\text{ W}$ におけるトリミング量の時間依存性 $f(t)$
- 24 トリミング電力 $P = 5\text{ W}$ におけるトリミング量の時間依存性 $f(t)$
- 25 トリミング電力 $P = 6\text{ W}$ におけるトリミング量の時間依存性 $f(t)$
- 26 トリミング時間 $T = 1$ 秒におけるトリミング量の電力依存性 $g(P)$
- 27 トリミング時間 $T = 10$ 秒におけるトリミング量の電力依存性 $g(P)$
- 28 トリミング時間 $T = 100$ 秒におけるトリミング量の電力依存性 $g(P)$
- 31 予想トリミング特性曲線（平均値） $f(t)$
- 31a 予想トリミング特性曲線（誤差範囲の最大値） $f_{\max}(t)$
- 31b 予想トリミング特性曲線（誤差範囲の最小値） $f_{\min}(t)$
- 31c 1回目のトリミングによる実際のトリミング量 $Ps_1$
- 32  $Ps_1$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線（平均値）
- 32a  $Ps_1$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線（最大値）
- 32b  $Ps_1$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線（最小値）
- 32c 2回目のトリミング終了時点での実際のトリミング量 $Ps_2$
- 33  $Ps_1, Ps_2$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線（平均値）
- 33a  $Ps_1, Ps_2$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線（最大値）

3 3 b  $Ps_1$ ,  $Ps_2$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線 (最小値)

3 3 c 3回目のトリミング終了時点での実際のトリミング量  $Ps_3$

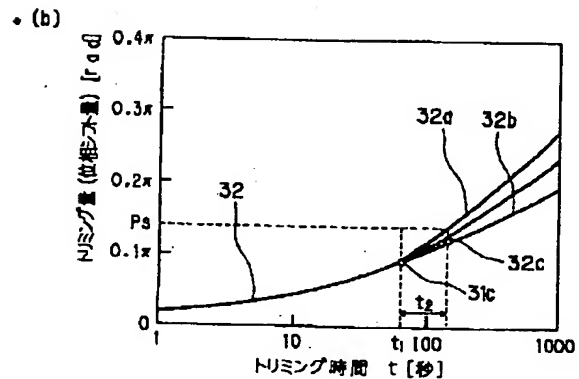
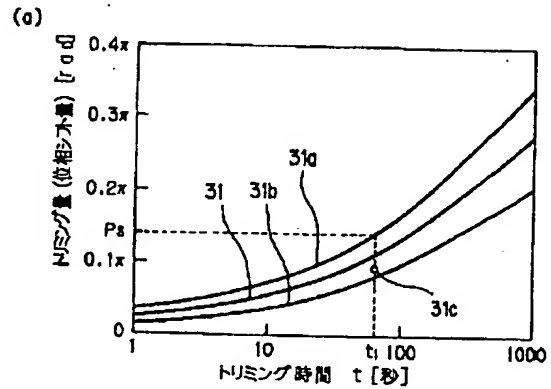
3 4  $Ps_2$ ,  $Ps_3$ に基づいて修正した予想トリミング特性曲線 (平均値)

【図1】

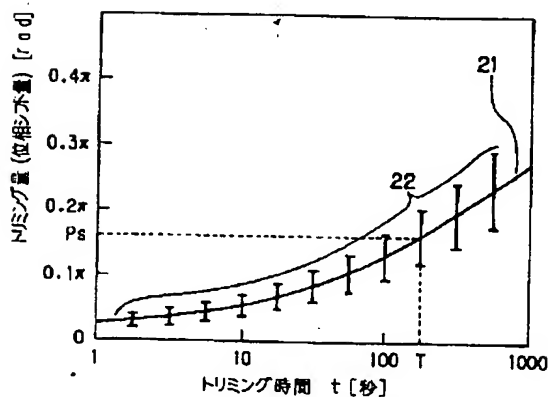


- 1 シリコン基板
- 2 導波路コア
- 3 クラッド
- 11 a, 11 b 入力導波路端
- 12 a, 12 b 出力導波路端
- 13 方向性結合器
- 14 薄膜ヒータ (スイッチング用位相シフター)
- 15 薄膜ヒータ (トリミング用位相シフター)

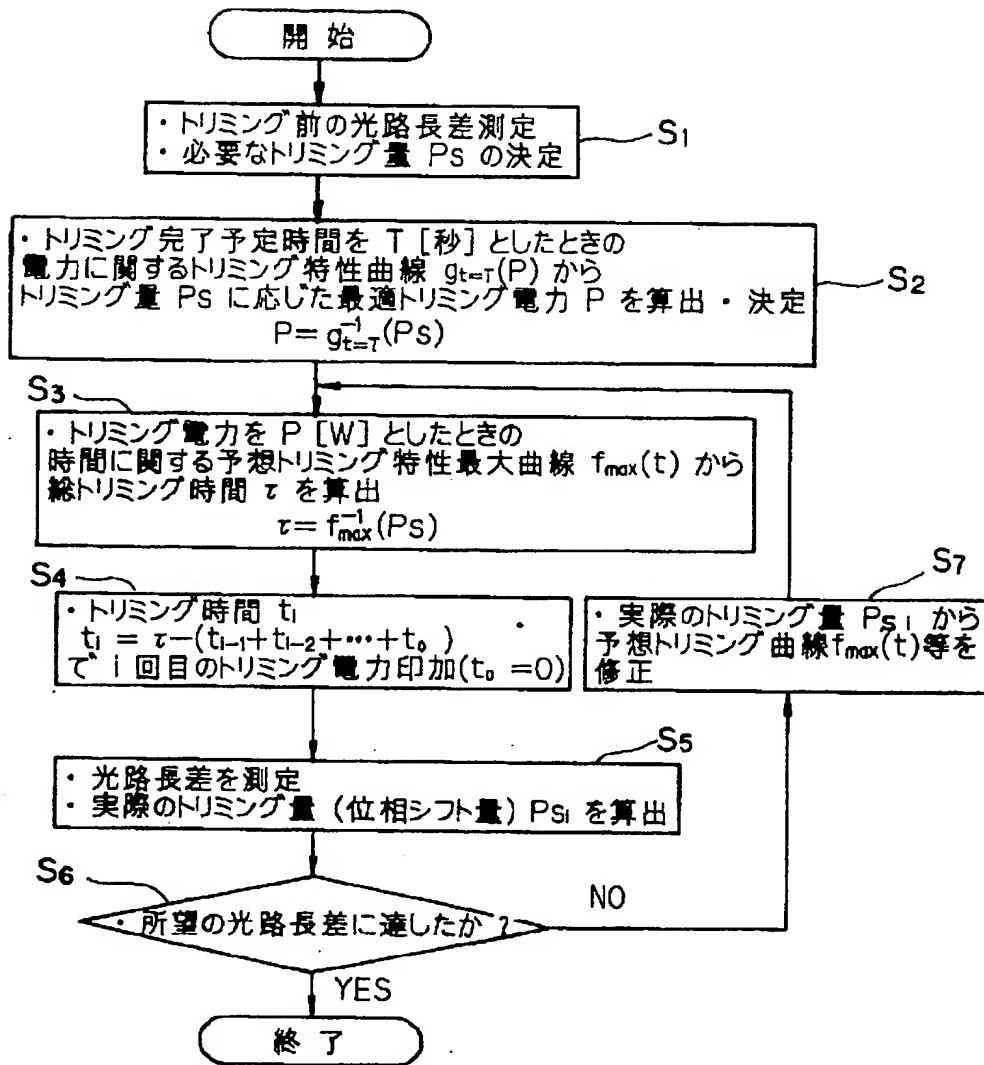
【図3】



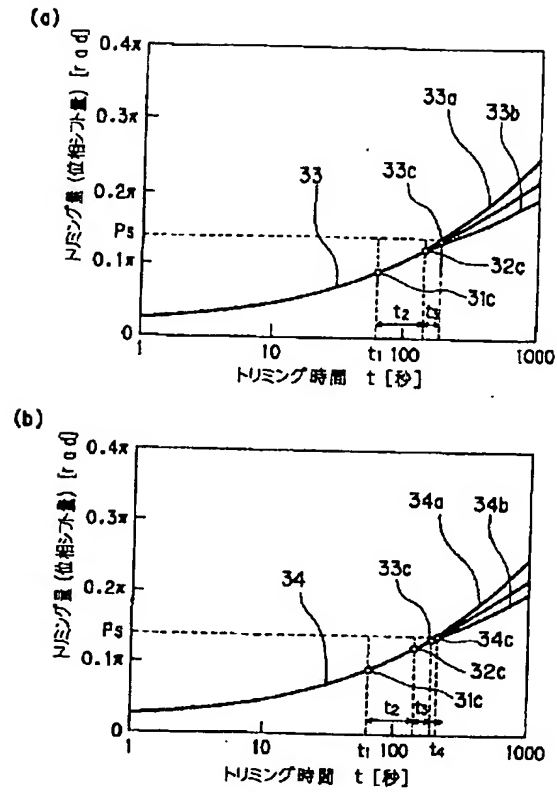
【図5】



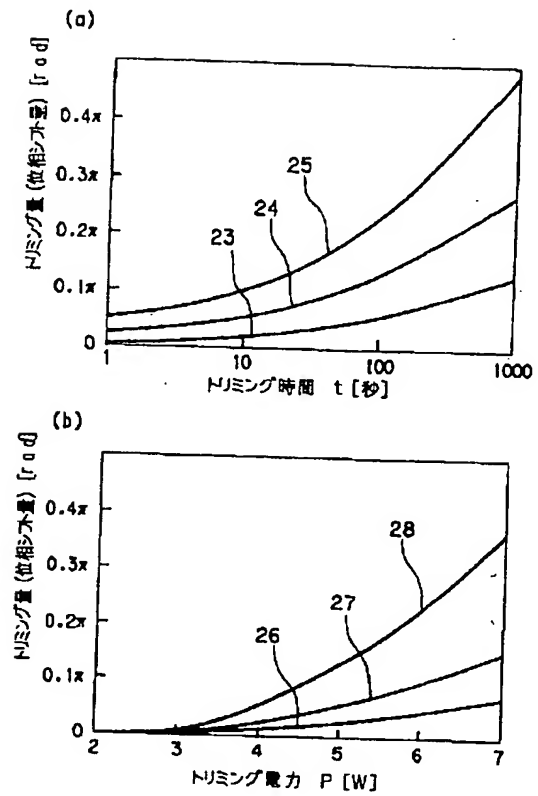
【図2】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 靖之  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**